



⑬ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 196 08 632 A 1**

⑤① Int. Cl.⁸:
G 01 B 11/30
G 02 B 26/10

②

⑳ Aktenzeichen: 196 08 632.9
㉑ Anmeldetag: 6. 3. 96
㉒ Offenlegungstag: 11. 9. 97

DE 196 08 632 A 1

㉑ Anmelder:
EOS GmbH Electro Optical Systems, 82152 Planegg,
DE

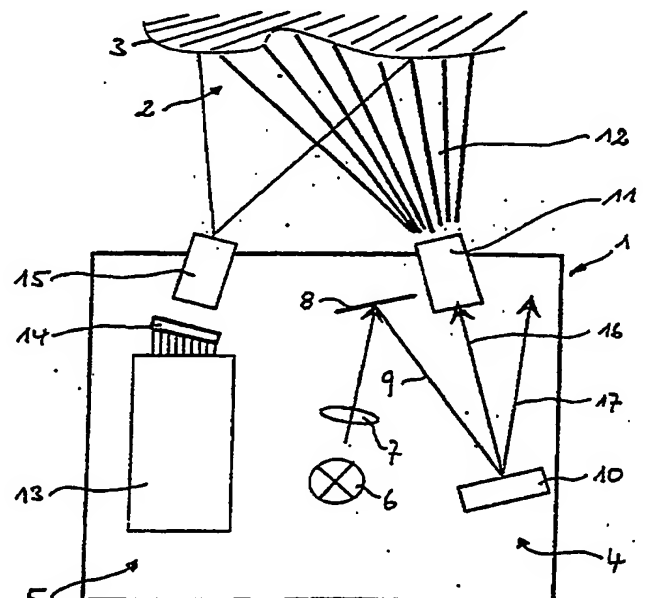
㉒ Vertreter:
Prüfer und Kollegen, 81545 München

㉓ Erfinder:
Reichle, Johannes, 81375 München, DE; Rönner,
Andreas, 81371 München, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Vorrichtung und Verfahren zur optischen Abtastung von Oberflächen

⑤⑦ Eine Vorrichtung zum optischen Abtasten einer Oberfläche weist in üblicher Weise eine Projektionsvorrichtung (4) zum Projizieren eines Lichtstrahls (9, 12, 16) auf die Oberfläche (3) und eine Betrachtungsvorrichtung (5) zum Betrachten des auf die Oberfläche projizierten Lichts (12) unter einem Winkel zur Projektionsrichtung auf.
Um die Schnelligkeit und Genauigkeit der Abtastung zu verbessern und eine flexible und universell einsetzbare Abtastvorrichtung zu schaffen, weist die Projektionsvorrichtung (4) einen Spiegelchip (10), beispielsweise vom DMD-Typ, zur gesteuerten Ablenkung des Lichtstrahls (9) auf.



DE 196 08 632 A 1



Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zur optischen Abtastung von Oberflächen nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 bzw. des Anspruchs 9.

Ein derartiges Verfahren ist allgemein unter den Begriffen Triangulation, Streifenlichtprojektion, Binär-Code-Verfahren oder Moiré-Verfahren bekannt. Bei den letzteren drei Verfahren wird ein auf die abzutastende bzw. zu messende Oberfläche ein Streifenmuster projiziert und von einer CCD-Kamera betrachtet. Durch Projektion verschiedener Phasenlagen (Phasenshift) bzw. unterschiedlicher Gitterkonstanten kann eine Information über die räumliche Lage jedes einzelnen Punktes der Oberfläche gewonnen werden.

Zur Erzeugung der Streifenprojektion werden üblicherweise entweder ein oder mehrere Liniengitter mit entsprechenden Verschiebe- oder Drehmechanismen oder ein LCD-Projektor verwendet. Diese bekannten Vorrichtungen sind jedoch hinsichtlich Streifenkontrast, Reaktionszeit bei der Verschiebung oder Drehung, Flexibilität in Bezug auf verschiedene Meßverfahren, Größe und Preis nicht optimal.

Es ist daher Aufgabe der Erfindung, eine Vorrichtung sowie ein Verfahren zum optischen Abtasten einer Oberfläche zu schaffen, die bzw. das im Hinblick auf die genannten Aspekte wesentlich verbessert ist.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch eine Vorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 1 bzw. durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 9 gelöst.

Ein wesentlicher Aspekt der Erfindung liegt darin, daß die obengenannten bekannten Vorrichtungen zur Streifenprojektion durch einen Spiegelchip, beispielsweise vom DMD-Typ, ersetzt werden. Ein derartiger Spiegelchip wurde beispielsweise von der Firma Texas Instruments für den Einsatz bei Projektoren, Druckern und Fernsehgeräten entwickelt und ist beispielsweise beschrieben im Artikel von Larry J. Hornbeck, "Current Status of the Digital Micromirror Device (DMD) for Projection Television Applications", International Electron Devices Meeting, 5.—8. Dezember 1993, Washington, US, oder in Larry J. Hornbeck, "Deformable-Mirror Spatial Light Modulators", Proceedings of SPIE The International Society for Optical Engineering, Volume 1150, San Diego, US, 6.—11. August 1989. Ein entsprechender Spiegelchip ist ferner auch in c't 1994, Heft 9, Seite 38, beschrieben sowie von der britischen Firma Rank Brimar vorgestellt worden.

Weitere Merkmale der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung eines Ausführungsbeispiels anhand der Figur, die schematisch den Aufbau der erfindungsgemäßen Vorrichtung darstellt.

Die Figur zeigt einen Meßkopf 1, der zur Abtastung eines Abtastbereiches 2 der Oberfläche 3 dieser gegenüberliegend positioniert ist. Der Meßkopf 1 weist eine Projektionsvorrichtung 4 und eine Betrachtungsvorrichtung 5 auf. Die Projektionsvorrichtung 4 umfaßt eine Lichtquelle 6, beispielsweise einen Laser oder eine Weißlichtquelle in Form einer Halogenlampe oder eines Blitzlichtes, die einen über eine Optik 7 gebündelten und an einem Spiegel 8 reflektierten Lichtstrahl 9 unter einem vorbestimmten Winkel, beispielsweise 20°, auf einen Spiegelchip 10 vom DMD-Typ richtet.

Dieser Spiegelchip 10 ist im einzelnen in den oben angegebenen Literaturstellen beschrieben, so daß eine detaillierte Beschreibung hier nicht erforderlich ist. Der bekannte Spiegelchip besitzt eine Vielzahl von matrix-

förmig angeordneten Mikrospiegel, die jeweils einzeln um den Auslenkwinkel von einer ersten stabilen Lage in eine zweite stabile Lage auslenkbar sind. Typische technische Daten sind:

- 5 Auflösung 640*480 bis 2048*1152 Bildpunkte (Pixel)
- Pixelgröße 16*16 µm
- Pixelabstand 17 µm
- Auslenkwinkel +/− 10°
- Auslenkzeit 10 µs
- 10 Chipgröße ca. 1*1 cm

Anstelle eines derartigen Spiegelchips ist auch ein Chip mit jeweils spaltenweise gemeinsam auslenkbaren Mikrospiegeln oder mit spaltenförmig geformten Mikrospiegeln einsetzbar. Auch einzelne Mikrospiegel können bei bestimmten Abtastverfahren wie Triangulation verwendet werden.

Die Projektionsvorrichtung 4 weist ferner ein Projektionsobjektiv 11 auf, daß einen vom Spiegelchip 10 reflektierten Strahl 16 entsprechend der einzelnen Auslenkung der Mikrospiegel als Streifenmuster 12 auf den Abtastbereich 2 projiziert.

Die Betrachtungsvorrichtung 5 weist eine Kamera 13 mit CCD-chip 14 sowie ein Betrachtungsobjektiv 15 auf; das Objektiv 15 ist mit seiner Achse winkelmäßig gegenüber der Achse des Projektionsobjektivs 11 so ange-

stellt, daß die Kamera 13, 14 über das Betrachtungsobjektiv 15 den Abtastbereich 2 betrachtet.

Es ist ferner eine nicht gezeigte Steuereinheit zur Koppelung und Steuerung der Projektionsvorrichtung 4, insbesondere zur selektiven Ansteuerung der einzelnen Mikrospiegel des Spiegelchips 10, und der Betrachtungsvorrichtung 5 zur Durchführung der nachfolgend beschriebenen Abtastung und Auswertung vorhanden.

Im Betrieb wird der Meßkopf 1 gegenüber einer abzutastenden Oberfläche 3 positioniert und die Objektive 11 und 15 jeweils auf den Abtastbereich 2 ausgerichtet. Einzelne ausgewählte Mikrospiegel im Spiegelchip 10 werden daraufhin so angesteuert, daß sie den einfallenden Lichtstrahl 9 zum Objektiv 11 reflektieren; beispielsweise können jeweils einzelne Spalten des Spiegelfeldes im Spiegelchip 10 angesteuert werden, so daß der Lichtstrahl 9 als reflektierter Strahl 16 in Form eines Streifenmusters zum Objektiv reflektiert wird. Der auf die nicht angesteuerten Mikrospiegel fallende Teil des Lichtstrahls 9 wird dagegen um einen dem Auslenkwinkel entsprechenden Winkel weiter abgelenkt, so daß der entsprechende reflektierte Strahl 17 nicht auf das Objektiv 11 trifft. Damit wird vom Objektiv 11 das Streifenmuster 12 auf den Abtastbereich 2 projiziert.

Das auf den Abtastbereich 2 projizierte Streifenmuster wird von der Kamera 13 über das Betrachtungsobjektiv 15 betrachtet. Dabei wird in an sich bekannter Weise durch Auswertung des Streifenmusters auf der Oberfläche 3, z. B. durch Vergleich mit einem gespeicherten Referenzmuster, eine geometrische Information über die Oberfläche erhalten, die in der Steuereinheit oder einem separaten angeschlossenen Rechner ausgewertet werden kann.

Die Ansteuerung der einzelnen Mikrospiegel und damit das projizierte Streifenmuster, beispielsweise der streifenabstand, kann entsprechend der abzutastenden Oberfläche gewählt werden; damit ist eine Anpassung an die Oberfläche, beispielsweise die Gradienten der Oberfläche, und entsprechend der geforderten Genauigkeit und Auflösung möglich. Da die bei der Auslenkung der Mikrospiegel bewegten Massen sehr klein sind, ist eine extrem kleine Auslenkzeit (nahezu "Echtzeit") und damit eine schnelle Folge einzelner Messun-



gen bzw. verschobener Streifen möglich. Durch Auslenkung wahlweise einzelner Mikrospiegel oder Spiegelgruppen, z. B. Spalten oder Zeilen, kann eine Mehrzahl unterschiedlicher Meßverfahren wie z. B. Punkt-Triangulation, Linien-Triangulation, Moiré-Projektion, Streifenlicht-Projektion oder Absolutmessung durch Binär-Code-Verfahren durch entsprechende Steuerung einer einzigen Vorrichtung durchgeführt werden.

Weitere Modifikationen der beschriebenen Vorrichtung sind möglich. So kann die Projektionsvorrichtung 4 anstelle des Lasers oder der Weißlichtquelle jede andere geeignete Lichtquelle, beispielsweise eine Natrium-Lampe, enthalten.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur optischen Abtastung einer Oberfläche, mit einer Projektionsvorrichtung (4) zum Projizieren eines Lichtstrahls (9, 12) auf die Oberfläche (3) und einer Betrachtungsvorrichtung (5) zum Erfassen des auf die Oberfläche projizierten Lichtstrahls (12) unter einem Winkel zur Projektionsrichtung, dadurch gekennzeichnet, daß die Projektionsvorrichtung (4) einen Spiegelchip (10) zur selektiven Ablenkung des Lichtstrahls (9, 12) aufweist.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Spiegelchip (10) mindestens einen Mikrospiegel mit jeweils mindestens zwei stabilen Lagen aufweist.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Spiegelchip (10) eine Mehrzahl von Mikrospiegeln aufweist, die in einer Zeile oder Spalte angeordnet und einzeln in jeweils eine von mindestens zwei stabilen Lagen steuerbar sind.
4. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Spiegelchip (10) eine Mehrzahl von Mikrospiegeln aufweist, die matrixförmig angeordnet und einzeln, zeilen- oder spaltenweise in jeweils eine von mindestens zwei stabilen Lagen steuerbar sind.
5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Spiegelchip (10) in einem von einer Lichtquelle (6) emittierten gebündelten Lichtstrahl (9) so angeordnet ist, daß in einer ersten stabilen Auslenkposition der Mikrospiegel der Lichtstrahl (9) mit einem ersten Reflexionswinkel so reflektiert wird, daß er über ein Projektionsobjektiv (11) auf einen Abtastbereich (2) der Oberfläche (3) auftrifft, und in einer zweiten stabilen Auslenkposition der Mikrospiegel der Lichtstrahl (9) mit einem zweiten Reflexionswinkel reflektiert wird, so daß er nicht auf den Abtastbereich (2) der Oberfläche (3) auftrifft.
6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Projektionsvorrichtung (4) eine als Laser oder Weißlichtquelle ausgebildete Lichtquelle (6) aufweist.
7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Betrachtungsvorrichtung (5) eine Kamera (13) mit einem CCD-Chip (14) aufweist.
8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Projektionsvorrichtung (4) und die Betrachtungsvorrichtung, (5) gemeinsam in einem relativ zur Oberfläche (3) positionierbaren Meßkopf (1) angeordnet sind.
9. Verfahren zum optischen Abtasten von Oberflä-

chen, bei dem ein Lichtstrahl (9, 12) mit einer ersten Richtung auf einen Abtastbereich (2) der Oberfläche (3) projiziert und dieser Abtastbereich (2) unter einer zweiten Richtung betrachtet wird, dadurch gekennzeichnet, daß der Lichtstrahl (9) auf einen Spiegelchip (10) gerichtet und der Spiegelchip (10) derart angesteuert wird, daß in einer ersten stabilen Lage eines Spiegels des Spiegelchips (10) der reflektierte Lichtstrahl (16) auf den Abtastbereich projiziert wird und in einer zweiten stabilen Lage der reflektierte Lichtstrahl (17) nicht in dem Abtastbereich (2) auftrifft.

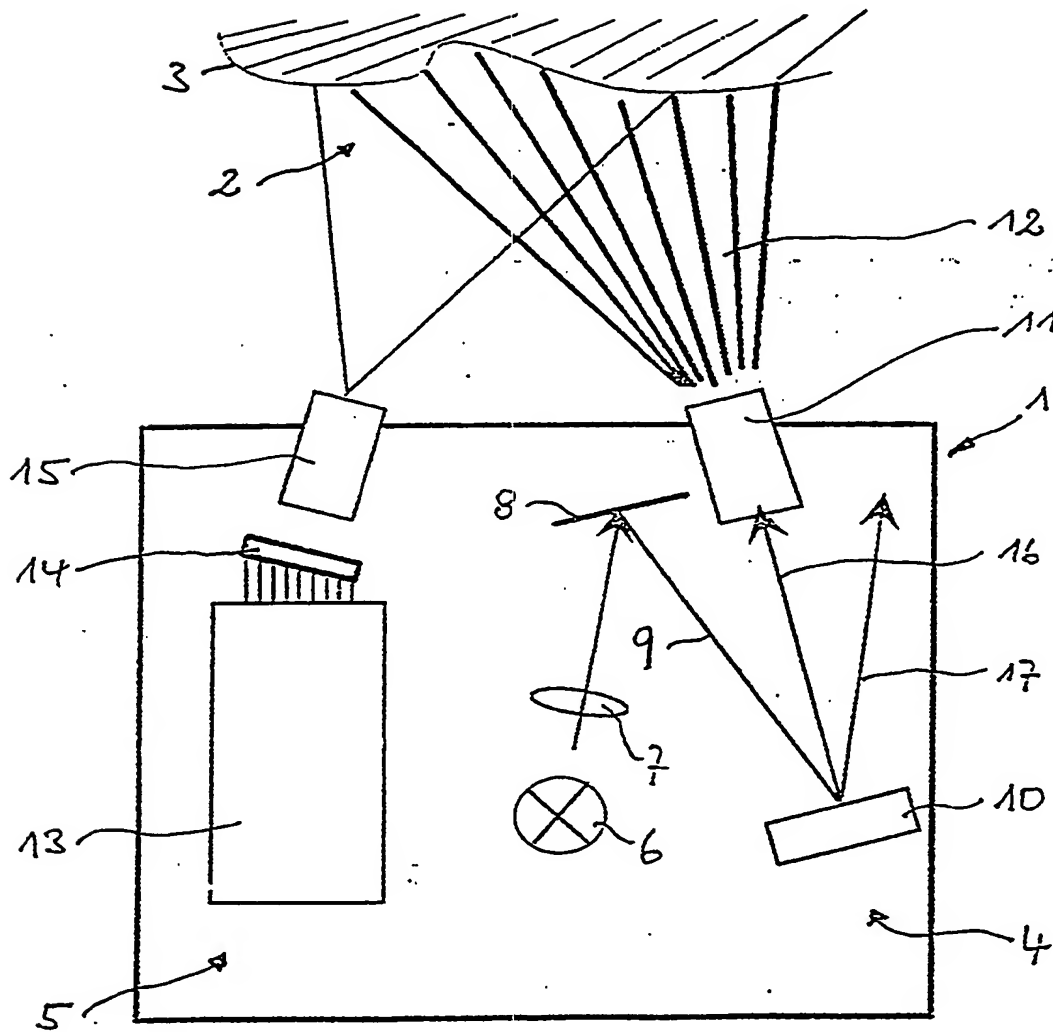
10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß der Spiegelchip (10) so angesteuert wird, daß auf den Abtastbereich (2) einzelne Lichtpunkte oder Linien projiziert werden.

11. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß der Spiegelchip (10) so angesteuert wird, daß auf den Abtastbereich (2) ein Streifenmuster projiziert wird.

12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Abtastung der Oberfläche (3) mittels Triangulation erfolgt bzw. durch Auswertung des Streifenmusters durchgeführt wird.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen





(Figure)

